

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Вінницький національний технічний університет
Інститут будівництва, теплоенергетики та газопостачання
Факультет теплоенергетики та газопостачання

**ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕПЛОАСОСНИХ СТАНЦІЙ
В УКРАЇНІ: ЕНЕРГЕТИЧНИЙ, ЕКОЛОГІЧНИЙ
ТА ЕКОНОМІЧНИЙ АСПЕКТИ**

Науковий керівник:

к.т.н., доц. каф. ТЕ Остапенко О.П.

Розробила: студентка гр. ТЕ-11мі

Шевченко О.В.

Анотація

Представлено аналіз перспектив застосування теплонасосних станцій (ТНС) в Україні з урахуванням наявних джерел низькотемпературної теплоти в регіонах, оцінено масштаби економії енергоресурсів та зменшення техногенного навантаження на навколишнє середовище (зниження викидів вуглекислого газу) у разі впровадження теплонасосних станцій.

Проаналізовано економічну ефективність ТНС з різними джерелами низькотемпературної теплоти для систем теплопостачання з урахуванням підвищення цін на енергоносії. Здійснена оцінка економічної ефективності ТНС для систем теплопостачання з урахуванням комплексного впливу джерел низькотемпературної теплоти, виду приводу компресора теплонасосної установки (ТНУ) та цін на енергоносії.

Запропоновано методи визначення економічної ефективності ТНС з різними видами приводу з урахуванням наявних в Україні джерел низькотемпературної теплоти за умови підвищення вартості енергоносіїв. Представлені рекомендації з визначення економічної ефективності та терміна окупності ТНС дозволяють обґрунтувати вибір низькотемпературного джерела теплоти для ТНС та виду приводу компресора теплового насоса за умови зміни вартості енергоносіїв.

Представлені в роботі рекомендації можуть бути використані для прогнозування умов ефективної інтеграції ТНС в системи теплопостачання промислових підприємств та підприємств муніципальної енергетики в Україні.

Робота складається із двох розділів: перспективи застосування теплонасосних станцій в Україні; економічна ефективність теплонасосних станцій для системи теплопостачання. Обсяг роботи – 29 сторінок. Результати досліджень представлені в 4 таблицях та на 8 рисунках. Використано 15 наукових джерел.

Ключові слова: теплонасосна станція, низькотемпературне джерело теплоти, економічна ефективність, екологічна ефективність, витрата палива, економія умовного палива.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 Перспективи застосування теплонасосних станцій в Україні	7
2 Економічна ефективність теплонасосних станцій для систем теплопостачання	15
ВИСНОВКИ	26
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	28
Додаток А. Довідки з редакцій	30
Додаток Б. Потенціал джерел низькотемпературної теплоти в Україні	32
Додаток В. Схеми теплонасосних станцій	35

ВСТУП

Основними умовами з досягнення енергетичної незалежності України є зменшення енергоспоживання та використання нетрадиційних і відновлюваних енергоресурсів природного та техногенного походження. Зважаючи на ресурси енергоносіїв, вітчизняну інфраструктуру, кліматичні та геологічні умови, та з огляду на світовий рівень енергетичних технологій, в нашій країні доцільно масштабно розвивати і впроваджувати сучасні технології використання поновлюваних та нетрадиційних джерел енергії, зокрема, впровадження теплонасосних станцій.

В Україні приділяється значна увага впровадженню теплових насосів. Впровадження теплонасосних технологій виробництва теплоти є одним з ефективних енергоощадних засобів, що забезпечують економію органічного палива і зниження забруднення навколишнього середовища. У відповідності з «Енергетичною стратегією України на період до 2030 року» (затвердженою розпорядженням Кабінету міністрів України №145-р від 15 березня 2006 р.) розвиток системи тепlopостачання планується здійснювати шляхом поступового нарощування виробництва теплоти на базі електричних теплогенераторів (переважно - теплових насосів). До 2030 року об'єм виробництва теплової енергії електричними теплогенераторами (з використанням теплових насосів) збільшиться до 180 млн. Гкал порівняно з 1,7 млн. Гкал в 2005 р. Таким чином, «Енергетична стратегія...» визначила новий концептуальний підхід до тепlopостачання житлово-комунального комплексу країни [1].

Актуальність роботи. В Україні застосування теплонасосних станцій є одним з найперспективніших напрямків енергозбереження. Дефіцит паливно-енергетичних ресурсів в Україні та екологічні переваги теплових насосів стимулюють впровадження теплонасосних станцій (ТНС) в промисловість і муніципальну енергетику. На енергетичному ринку України склалося співвідношення цін електроенергії та палива, сприятливе для впровадження теплових насосів. При зростанні ціни природного газу понад 330–340 \$ за тисячу кубометрів більшість комунальних водогрійних котелень стають збитковими, що зумовлює необхідність зростання споживацьких тарифів на теплову енергію. Виходом із цієї ситуації є впровадження сучасних енергозберігаючих технологій (зокрема, спорудження теплонасосних станцій на базі водогрійних котелень), що дозволить скоротити споживання природного газу та зменшити вартість теплової енергії.

Впровадження теплонасосних станцій з природними або промисловими джерелами низькотемпературної теплоти дозволить скоротити споживання природного газу, зменшити вартість теплової енергії та полегшити техногенне навантаження на навколишнє середовище.

Метою даного дослідження є визначення енергетичних, екологічних та економічних переваг застосування в Україні теплонасосних станцій з різними видами приводу з урахуванням наявних в регіонах джерел низькотемпературної теплоти за умови підвищення вартості енергоносіїв; аналіз економічної ефективності ТНС для систем тепlopостачання з урахуванням комплексного впливу джерел низькотемпературної теплоти, виду приводу компресора ТНУ та цін на енергоносії; розробка методів оцінки енергетичної та економічної ефективності теплонасосних станцій.

Завдання дослідження:

- визначення перспектив застосування теплонасосних станцій в Україні з урахуванням наявних в регіонах джерел низькотемпературної теплоти,
- оцінка масштабів економії енергоресурсів та зменшення техногенного навантаження на навколишнє середовище від впровадження теплонасосних станцій в Україні;
- визначення комплексного впливу джерел низькотемпературної теплоти, виду приводу компресора теплового насоса та вартості енергоносіїв на показники економічної ефективності роботи теплонасосних станцій;
- оцінка економічної ефективності ТНС для систем тепlopостачання з урахуванням комплексного впливу джерел низькотемпературної теплоти, виду приводу компресора теплового насоса та вартості енергоносіїв.
- проведення оптимізаційних техніко-економічних досліджень з метою визначення оптимальних економічних умов застосування ТНС в системах тепlopостачання.

Наукова новизна:

- вперше досліджено, у зіставленні проаналізовано, а також визначено закономірності комплексного впливу джерел низькотемпературної теплоти, виду приводу компресора теплового насоса та вартості енергоносіїв на показ-

ники економічної ефективності роботи теплонасосних станцій для промисловості та муніципальної енергетики;

- дістали подальший розвиток методи прогнозування умов ефективної інтеграції ТНС в промисловість та муніципальну енергетику в частині визначення оптимальних економічних умов застосування ТНС в системах теплопостачання, з урахуванням комплексного впливу джерел низькотемпературної теплоти, виду приводу компресора ТНУ та цін на енергоносії.

Практичне значення одержаних результатів. Встановлено енергетичний, екологічний та економічний ефект за рахунок інтеграції теплонасосних станцій в промисловість та муніципальну теплоенергетику в Україні.

Методи дослідження – методом чисельних експериментів, з використанням оригінальних програм в середовищі MS Excel, визначено енергетичну, екологічну та економічну ефективність теплонасосних станцій з різними джерелами низькотемпературної теплоти та видами приводу компресора теплового насосу.

Апробація результатів роботи – матеріали та результати досліджень доповідалися на XXIX і XXX науково-технічних конференціях Вінницького національного технічного університету (2009 р., 2010 р.), на Міжнародній конференції "Інноваційні технології в будівництві" (Вінниця, 10-12 листопада 2010 р.); Всеукраїнській науково-технічній конференції "Енергоефективність в галузях економіки України" (Вінниця, 23-25 листопада 2011 р.). Результати проведених досліджень представлені в двох наукових статтях у фахових виданнях з Переліку ВАК України (статті позитивно відрецензовані та рекомендовані до публікації (додаток А)) та тезах доповідей.

1 ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОНАСОСНИХ СТАНЦІЙ В УКРАЇНІ

Застосування теплових насосів, крім енергетичних переваг, зумовлює зменшення забруднення навколишнього середовища (також і теплового) та скорочення шкідливих викидів в атмосферу. Розпорядженням Кабінету міністрів України №609-р від 20 травня 2009 р. затверджено перелік проектних пропозицій щодо першочергового встановлення теплових насосів в АР Крим та 20 областях України. Залучення коштів від продажу квот на викиди CO₂, згідно з Кіотським протоколом, дозволить підвищити економічну ефективність впровадження ТНС та скоротити термін окупності останніх.

Слід зазначити, що найбільший енергоощадний ефект забезпечується від впровадження теплонасосних станцій, в яких тепловий насос поєднується з додатковим піковим джерелом теплоти. Однією з умов раціонального застосування теплонасосних станцій є наявність джерел низькотемпературної теплоти з достатньо високою температурою протягом року, які не потребують значних витрат на перекачування та не призводять до корозії устаткування. Теплота, що виробляється теплонасосними станціями, застосовується для опалення та гарячого водопостачання житлових, промислових та громадських споруд, а також для технологічних потреб [2–3].

Метою дослідження є визначення перспектив застосування теплонасосних станцій в Україні з урахуванням наявних в регіонах джерел низькотемпературної теплоти, оцінка масштабів економії енергоресурсів та зменшення техногенного навантаження на навколишнє середовище від впровадження теплонасосних станцій в Україні.

На основі результатів досліджень [3–7] нами досліджено та проаналізовано 108 проектів теплонасосних станцій для 21 області України з використанням теплоти повітря, морської води, річкової води, ґрунту, водосховищ, шахтних вод, термальних вод, каналізаційних стічних вод та вторинних енергоресурсів (ВЕР) металургійних комбінатів. Найбільші масштаби використання в Україні ТНС на теплоті стічних вод, річкової води, теплоти ґрунту та ґрунтових вод. Використання в ТНС теп-

лоти морської води, геотермальних вод, шахтних вод, ВЕР металургійних комбінатів можливе лише в окремих областях України, проте обґрунтовується значними обсягами економії палива. Енергетичний потенціал теплоти стічних вод, геотермальних вод, а також теплоти ґрунту і ґрунтових вод в Україні [8] представлено в додатку Б.

Джерела геотермальної енергії розташовані по всій території України. Оскільки ці джерела мають надзвичайно широкий спектр характеристик, Україна має значні потенційні ресурси геотермальної енергії. Районами її можливого використання є Крим, Закарпаття, Прикарпаття, Донецька, Запорізька, Луганська, Полтавська, Харківська, Херсонська, Чернігівська та інші області. Серед перспективних районів необхідно відзначити Закарпаття, Крим, Львівщину. У Криму найбільш перспективними є Тарханкутський район та Керченський півострів. Потенціал геотермальної енергії в Україні представлено в додатку Б (табл. Б.1).

Основними джерелами низькотемпературної скидної теплоти техногенного походження є вентиляційні викиди та охолоджуюча вода технологічного та енергетичного обладнання підприємств, промислові та комунально-побутові стоки. Досвід провідних країн свідчить, що найбільш ефективним є використання теплової енергії стічних вод за допомогою теплових насосів. Потужні теплонасосні станції теплопостачання можуть розміщатися біля відвідних каналів очищених комунально-побутових вод. Можливим є створення окремих теплонасосних установок для утилізації теплоти умовно чистих стоків басейнів, спортивних комплексів, пральних комбінатів та інших об'єктів побутового і промислового призначення.

В Україні загальний річний об'єм комунально-побутових стоків становить близько 3740 млн. м³. Температура стоків становить 12–20 °С залежно від сезону. В Україні каналізаційні системи централізованого відведення комунально-побутових стоків функціонують в 427 містах, 515 селищах міського типу, 856 селах. Питомий обсяг комунально-побутових стоків становить 0,15–0,4 м³ на одного жителя за добу. Цей показник значною мірою залежить від доступності води та соціально-економічних умов в окремих регіонах.

Теоретичні ресурси низькотемпературної теплової енергії стічних вод розраховуються, виходячи з загального обсягу каналізаційних стоків відповідної області.

Технічно доступні ресурси розраховуються, виходячи з загального обсягу очищених каналізаційних стоків лише від міських поселень. Економічно-доцільні обсяги використання низькотемпературної теплової енергії стічних вод розраховуються, виходячи з половини обсягу очищених стоків від міських поселень відповідної області (враховуються обмеження, пов'язані з нерівномірністю надходження стоків). Енергетичний потенціал низькотемпературної теплової енергії стічних вод в областях України показано в додатку Б (табл. Б.2).

Теплова енергія ґрунту та ґрунтових вод може використовуватися для обігріву та вентиляції приміщень. Відбір теплової енергії від ґрунту може здійснюватися за допомогою ґрунтових теплообмінників різних типів. Температура теплоносія в ґрунтовому теплообміннику становить від мінус 5–7 до плюс 10–12 °С і є придатною для виробництва теплоносія з температурою 40–70 °С за допомогою теплових насосів. Досвід провідних країн свідчить, що енергію ґрунту найчастіше використовують в теплонасосних установках потужністю до 70–100 кВт, які обслуговують окремі невеликі будинки, головним чином садибні житлові будинки. В умовах України це можуть бути садибні будинки міст та сіл.

В Україні експлуатується 9,3 млн. садибних будинків з загальною площею 515,8 млн. м². Для їх теплопостачання можна влаштовувати ґрунтові теплообмінники з теоретичним запасом теплової енергії 525855 тис. МВт·год на рік. Це і є теоретичні ресурси теплової енергії ґрунту та ґрунтових вод, що значно перевищують потреби енергії для опалення садибних житлових будинків. Оцінки ресурсів низькотемпературної теплової енергії ґрунту та ґрунтових вод, визначені на основі статистичних даних, можуть прийматися як прогнозні на найближчі роки. Енергетичний потенціал низькотемпературної теплоти ґрунту та ґрунтових вод в областях України показано в додатку Б (табл. Б.3).

В табл. 1–3 наведені результати досліджень ефективності ТНС з різними джерелами низькотемпературної теплоти в Україні, проведених з використанням програми в середовищі Excel, на основі проектних пропозицій, затверджених Розпорядженням Кабінету міністрів України №609-р від 20 травня 2009 р. За результатами

досліджень здійснено оцінку економії енергоресурсів та скорочення викидів CO₂ в Україні від застосування ТНС з різними джерелами теплоти.

Значення економії природного газу (у відсотках) від застосування ТНС з різними джерелами низькотемпературної теплоти показано в табл. 1. Найбільша економія палива досягається ТНС з використанням теплоти термальних та каналізаційних стічних вод (58,17% та 56,09% відповідно). Найменша економія палива властива ТНС з використанням теплоти повітря (20,41%).

Таблиця 1 - Показники ефективності теплонасосних станцій з різними джерелами теплоти

Джерело теплоти для теплонасосної станції	Потужність ТНС, МВт	Економія природного газу, %
Морська вода	0,9...51,6	34,016
Водосховище	1...2	43,733
Термальні води	0,29...3	58,167
Повітря	0,3...18,4	20,409
Річка	0,5...40	25,198
ВЕР металургійного комбінату	39,5...54,9	42,646
Каналізаційні стічні води	0,3...90	56,088
Шахтні води	2,4...10,6	50,079
Ґрунт	0,1...5,9	24,745

В табл. 2 показані можливі обсяги економії природного газу ТНС з різними джерелами низькотемпературної теплоти в Україні. Тут також вказано значення економії палива (у відсотках від загальної економії по Україні) для ТНС на різних джерелах низькотемпературної теплоти. Ця таблиця характеризує обсяги використання потенціалу природних та техногенних джерел низькотемпературної теплоти для ТНС в Україні.

Крім енергетичних переваг, застосування теплонасосних станцій зумовлює зменшення забруднення навколишнього середовища та скорочення шкідливих викидів в атмосферу. В табл. 2 показано обсяги зменшення викидів CO₂ в Україні за умови використання ТНС з різними джерелами низькотемпературної теплоти. Впровадження ТНС забезпечить зниження викидів CO₂ в Україні в кількості 732,263 тис. тонн в рік, що дозволить знизити техногенне навантаження на навколишнє середо-

вище (особливо у великих промислових центрах) та підвищити економічну ефективність впровадження ТНС із залученням коштів від продажу квот на викиди CO₂, згідно з Кіотським протоколом.

Таблиця 2 - Економія енергоресурсів та скорочення викидів CO₂ в Україні від застосування теплонасосних станцій з різними джерелами теплоти

Джерело теплоти для теплонасосної станції	Економія палива, тис.м ³ /рік	Економія палива, %	Скорочення викидів CO ₂ , тис. тонн/рік
Морська вода	96350	15,68	103,370
Водосховище	1302,1	0,21	3,350
Термальні води	2528	0,41	2,680
Повітря	21036	3,42	80,509
Річка	235864	38,37	248,100
ВЕР металургійного комбінату	51300	8,35	106,000
Каналізаційні стічні води	164920	26,83	142,574
Шахтні води	29140	4,74	28,620
Ґрунт	12210	1,99	17,060
ВСЬОГО по Україні	614650,1	100	732,263

В табл. 3 наведені значення економії природного газу від впровадження ТНС в Україні з використанням наявних в регіонах джерел низькотемпературної теплоти. Тут вказана загальна потужність теплонасосних станцій в регіонах та можливі обсяги економії енергоресурсів від впровадження теплонасосних станцій в різних областях України.

Впровадження в Україні ТНС загальною потужністю 909,48 МВт з використанням наявних в регіонах джерел низькотемпературної теплоти дозволить зекономити 614,650 млн. м³ в рік природного газу. Як видно з табл. 5, в Україні найбільш широко планується використовувати теплоту каналізаційних стічних вод та річкової води, що дозволить зекономити відповідно 235,864 та 164,920 млн. м³ в рік природного газу. Впровадження ТНС на теплоті морської води забезпечить економію природного газу в кількості 96,350 млн. м³ в рік.

Таблиця 3 - Обсяги економії енергоресурсів від застосування теплонасосних станцій з різними джерелами теплоти в регіонах України

Регіон	Джерело теплоти	Потужність, МВт	Економія палива, тис. м ³ /рік	Економія палива, %
1	2	3	4	5
АР Крим	Морська вода	102,4	61700	11,19
	Водосховище	2	1300	
	Термальні води	3	2100	
	Повітря	5,6	3706	
ВСЬОГО по регіону		113	68806	
Вінницька обл.	Річка	71	49500	8,05
ВСЬОГО по регіону		71	49500	
Дніпропетровська обл.	Повітря	24,6	14600	19,36
	Річка	99,44	73230	
	ВЕР металург. комбінату	39,5	18300	
	Каналізаційні стічні води	12	8400	
	Ґрунт	12,3	4470	
ВСЬОГО по регіону		187,84	119000	
Донецька обл.	Морська вода	5,8	3600	2,31
	Річка	2,5	1600	
	Шахтні води	14	9000	
ВСЬОГО по регіону		22,3	14200	
Житомирська обл.	Річка	45	31500	5,42
	Каналізаційні стічні води	0,5	1100	
	Ґрунт	0,33	700	
ВСЬОГО по регіону		45,83	33300	
Закарпатська обл.	Термальні води	1,01	428	0,21
	Повітря	0,22	154	
	Каналізаційні стічні води	1	700	
ВСЬОГО по регіону		2,23	1282	
Запорізька обл.	Морська вода	41,6	28950	5,77
	Повітря	2,4	2390	
	Річка	15,1	4100	
ВСЬОГО по регіону		59,1	35440	
Івано-Франківська обл.	Повітря	0,3	24	0,02
	Ґрунт	0,1	70	
ВСЬОГО по регіону		0,4	94	
Кіровоградська обл.	Річка	1	340	1,99
	Каналізаційні стічні води	17	11900	
ВСЬОГО по регіону		18	12240	

Продовження табл. 3

1	2	3	4	5
Луганська обл.	Річка	34,06	25960	15,70
	ВЕР металург. комбінату	59,4	33000	
	Каналізаційні стічні води	25,3	17400	
	Шахтні води	30,5	20140	
ВСЬОГО по регіону		149,26	96500	
Миколаївська обл.	Річка	20	15000	2,44
ВСЬОГО по регіону		20	15000	
Одеська обл.	Морська вода	3	2100	1,25
	Водосховище	3	2,1	
	Річка	1	700	
	Ґрунт	7	4900	
ВСЬОГО по регіону		14	7702,1	
Полтавська обл.	Річка	0,76	460	0,08
ВСЬОГО по регіону		0,76	460	
Рівненська обл.	Річка	2,5	1402	2,61
	Каналізаційні стічні води	18	14400	
	Ґрунт	0,3	210	
ВСЬОГО по регіону		20,8	16012	
Харківська обл.	Каналізаційні стічні води	3,5	1700	0,30
	Ґрунт	0,5	160	
ВСЬОГО по регіону		4	1860	
Херсонська обл.	Річка	30,52	20070	5,80
	Каналізаційні стічні води	20,4	15600	
ВСЬОГО по регіону		50,92	35670	
Хмельницька обл.	Ґрунт	2	1400	0,23
ВСЬОГО по регіону		2	1400	
Черкаська обл.	Річка	6	4000	0,65
ВСЬОГО по регіону		6	4000	
Чернівецька обл.	Річка	0,5	2	3,2·10 ⁻⁴
ВСЬОГО по регіону		0,5	2	
Чернігівська обл.	Повітря	0,418	8	1,30
	Річка	12	8000	
ВСЬОГО по регіону		12,418	8008	
м. Київ та Київська обл.	Повітря	0,022	154	15,32
	Каналізаційні стічні води	108,7	93720	
	Ґрунт	0,4	300	
ВСЬОГО по регіону		109,122	94174	
ВСЬОГО по Україні		909,48	614650,1	100

В табл. 3 вказані значення економії природного газу в регіонах (у відсотках від загальної економії по Україні) від застосування ТНС на різних джерелах низькотемпературної теплоти. Найбільші обсяги економії енергоресурсів в Україні від застосування ТНС властиві таким областям, як Дніпропетровська (19,36%), Луганська (15,70%) та Київська (15,32%). Це обумовлено значними ресурсами природних та

техногенних джерел низькотемпературної теплоти в цих регіонах. Суттєвої економії енергоресурсів від застосування ТНС (11,19%) можна досягти в АР Крим за рахунок використання значних ресурсів природної низькотемпературної теплоти в регіоні. Дуже незначні обсяги економії енергоресурсів від застосування ТНС в західних областях України, що пов'язано з відсутністю в цих регіонах джерел низькотемпературної теплоти техногенного походження. Проте, ТНС на природних джерелах теплоти можуть стати основою теплозабезпечення цих регіонів, оскільки зумовлюють зменшення забруднення навколишнього середовища та скорочення шкідливих викидів в атмосферу.

Отже, можна зробити такі висновки:

1. Оцінено перспективи застосування та енергетичну ефективність теплонасосних станцій в Україні з урахуванням наявних джерел низькотемпературної теплоти (повітря, морської води, річкової води, ґрунту, водосховищ, шахтних вод, термальних вод, каналізаційних стічних вод та ВЕР металургійних комбінатів).

2. Найбільша економія палива досягається ТНС з використанням теплоти термальних та каналізаційних стічних вод (58,17% та 56,09% відповідно). Найменша економія палива властива ТНС з використанням теплоти повітря (20,41%).

3. В Україні найбільш широко планується використовувати в ТНС теплоту каналізаційних стічних вод та річкової води, що дозволить зекономити відповідно 235,864 та 164,920 млн. м³ в рік природного газу. Впровадження ТНС на теплоті морської води забезпечить економію природного газу в кількості 96,350 млн. м³ в рік.

4. Впровадження теплонасосних станцій в Україні з використанням наявних в регіонах джерел низькотемпературної теплоти дозволить зекономити 614,650 млн. м³ в рік природного газу та забезпечить зниження викидів CO₂ в кількості 732,263 тис. тонн в рік.

2 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕПЛОНАСОСНИХ СТАНЦІЙ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

Дефіцит паливно-енергетичних ресурсів в Україні та екологічні переваги теплових насосів стимулюють впровадження теплонасосних станцій (ТНС) в промисловість і муніципальну енергетику. Для економічної роботи ТНС необхідним є сприятливе співвідношення цін на паливо та електроенергію, що справедливо лише для теплових насосів з електроприводом. Економічна ефективність ТНС з приводом від двигуна внутрішнього згорання або від газотурбінної установки не залежить від вартості електроенергії, а залежить лише від вартості палива. Проте, такі установки потребують більших капіталовкладень. На енергетичному ринку України склалося співвідношення цін електроенергії та палива, сприятливе для впровадження теплових насосів. При зростанні ціни природного газу понад 330–340 \$ за тисячу кубометрів більшість комунальних водогрійних котелень стають збитковими, що зумовлює необхідність зростання споживацьких тарифів на теплову енергію. Виходом із цієї ситуації є впровадження сучасних енергозберігаючих технологій (зокрема, спорудження теплонасосних станцій на базі водогрійних котелень), що дозволить скоротити споживання природного газу та зменшити вартість теплової енергії.

За останні роки проведено ряд досліджень ефективності застосування теплонасосних установок (ТНУ) в теплових схемах джерел енергопостачання. В роботі [3] авторами виконані дослідження з підвищення енергоефективності джерел теплопостачання шляхом використання ТНУ з врахуванням впливу схемних рішень та режимів роботи. Оцінка ефективності ТНС здійснювалась за такими критеріями: економія палива в порівнянні з існуючою схемою, річні витрати на паливо та електроенергію, капіталовкладення, собівартість одиниці теплоти, термін окупності, річні приведені затрати та прибуток.

В [9] визначались економічні показники систем теплопостачання з ТНУ для умов економіки Росії. Розрахунки проводилися для різних співвідношень ціни на паливо (газ, вугілля) та електроенергію. В дослідженні [9] запропоновані такі критерії оцінки економічної ефективності, як: інтегральний ефект (чистий прибуток), індекс дохідності

(прибутковості) і термін окупності капіталовкладень. В [10] розглядаються схеми використання ТНУ на промислових електростанціях. В дослідженні [11] проаналізовано ефективність ТНС з електроприводом та з приводом від газотурбінної установки і котлом-утилізатором.

Авторами [12] проведені порівняльні дослідження трьох систем енергопостачання за собівартістю теплоти (на базі газового котла, теплового насоса та когенераційної установки з тепловим насосом) за умови зміни вартості електроенергії та газу для різних груп споживачів. Враховувалась вартість газу і електроенергії лише для соціально-бюджетної та житлово-комунальної сфери. Запропоновані результати одержані лише для наявних цін на електроенергію та не дозволяють здійснити оцінку ефективності застосування ТНУ у разі зміни ціни на паливно-енергетичні ресурси.

В роботі [13] проведена оцінка ефективності чотирьох джерел тепlopостачання потужністю 3 МВт на базі електрокотла, паливного котла (газ, рідке паливо) та теплонасосної установки. В основу економічних моделей покладені середні показники вартості паливно-енергетичних ресурсів в Україні. В роботі [14] проведена оцінка енергоефективності теплонасосної установки малої потужності в порівнянні з традиційними джерелами тепlopостачання на базі електричного та газового котла. Врахована зміна вартості палива та електроенергії для обмеженої кількості варіантів.

В роботах [3, 9–14] авторами не здійснено оцінку економічної ефективності ТНС з різними видами приводу для систем тепlopостачання в широкому діапазоні зміни вартості палива та електроенергії за умови однакових схем підключення ТНУ. Відсутній аналіз економічної ефективності ТНС з різними джерелами низькотемпературної теплоти.

Метою дослідження є оцінка економічної ефективності теплонасосної станції потужністю 1 МВт для систем тепlopостачання з урахуванням комплексного впливу джерел низькотемпературної теплоти, виду приводу компресора ТНУ та цін на енергоносії; проведення оптимізаційних техніко-економічних досліджень з метою визначення оптимальних економічних умов застосування ТНС в системах тепlopостачання.

Економічна ефективність від впровадження ТНС визначається як різниця експлуатаційних витрат заміщеної водогрійної котельні та ТНС. До експлуатаційних

витрат при роботі водогрійної котельні або ТНС відносяться: витрати на паливо, електроенергію, воду, амортизацію обладнання та поточний ремонт, заробітну плату та інші витрати. Найбільш вагомою складовою в структурі експлуатаційних витрат та собівартості теплової енергії є витрати на паливо (для котельних та ТНС з приводом від газопоршневого двигуна) та електричну енергію (для ТНС з електроприводом). Крім того, значний вплив на енергетичну ефективність ТНС чинить температурний рівень обраного джерела низькотемпературної теплоти: чим вища температура низькотемпературного джерела теплоти, тим менше витрачається енергії на привод компресора ТНУ у складі ТНС за умови сталої температури в конденсаторі. Отже, зі збільшенням температури низькотемпературного джерела теплоти, зменшуються витрати на електроенергію або паливо для приводу компресора ТНУ у складі ТНС. Таким чином, економічна ефективність застосування ТНС з певним видом приводу, згідно з [3], значною мірою визначається саме співвідношенням вартостей палива та електричної енергії.

З урахуванням висновків та рекомендацій [3, 9–14], нами проведено дослідження впливу вартості паливно-енергетичних ресурсів на економічну ефективність теплонасосних станцій в системах тепlopостачання.

Здійснено оцінку економічної ефективності ТНС потужністю 1 МВт для систем тепlopостачання з урахуванням комплексного впливу джерел низькотемпературної теплоти, виду приводу компресора ТНУ та цін на енергоносії. Досліджувалась економічна ефективність ТНС з такими джерелами природної низькотемпературної теплоти та теплоти техногенного походження: морська вода, водосховище, термальні води, повітря, річка, каналізаційні стічні води, вторинні енергоресурси (ВЕР) металургійних комбінатів, шахтні води, ґрунтові води. Ці джерела низькотемпературної теплоти є досить поширеними на території України. Досліджувалась економічна ефективність ТНС з електричним приводом компресора ТНУ та приводом від газопоршневого двигуна. Схеми зазначених ТНС наведені в роботі [3] та додатку В. За порівняльний варіант приймався варіант роботи водогрійної котельні такої ж потужності.

Дослідження економічної ефективності проводились за укрупненими показниками. Визначались економічна ефективність та проста окупність варіантів ТНС з різними джерелами низькотемпературної теплоти та видами приводу компресора ТНУ.

Проста окупність варіантів ТНС визначалась як відношення капіталовкладень в ТНУ до економічної ефективності ТНС. В розрахунках приймалися питомі капіталовкладення в ТНС, які становлять 800 грн./кВт встановленої потужності ТНУ [1]. Для різних джерел теплоти в ТНС не враховувались витрати на спорудження систем відбору теплоти від низькотемпературного джерела. Результати проведених досліджень можуть бути використані для здійснення попередньої оцінки ефективності ТНС в певних економічних умовах при зміні вартості енергоносіїв.

Враховуючи сучасну складну ситуацію в паливно-енергетичному комплексі країни та тенденцію до зростання цін на паливно-енергетичні ресурси, дослідження економічної ефективності ТНС проводились для сучасних значень вартості енергоносіїв та прогнозованого підвищення їх вартості найближчим часом. Діапазон зміни цін на енергоносії, для яких проводилось дослідження, показано в табл. 4.

Таблиця 4 - Зміна вартості паливно-енергетичних ресурсів

Значення вартості енергоносіїв (станом на 01.03.11) [15]		Зростання вартості енергоносіїв				
		на 10 %	на 20 %	на 30 %	на 40 %	на 50 %
Ціна на електроенергію, \$/(МВт·год)	93,75	103,125	112,5	121,875	131,25	140,625
Ціна на електроенергію, грн./(кВт·год)	0,75	0,825	0,9	0,975	1,05	1,125
Ціна на природний газ, грн./тис. м ³	2688	2956,8	3225,6	3494,4	3763,2	4032
Ціна на природний газ, \$/тис. м ³	336	369,6	403,2	436,8	470,4	504

Оскільки економічна ефективність ТНС з електроприводом в значній мірі залежить від вартості природного газу та електроенергії, нами проводилось дослідження у випадках: 1) підвищення вартості природного газу, 2) підвищення вартості електроенергії; 3) одночасного підвищення вартості природного газу та електроенергії.

Результати проведених досліджень економічної ефективності ТНС з електропри-

водом у випадку зростання вартості електроенергії для різних джерел низькотемпературної теплоти показані на рис. 1–2. Вартість природного газу приймалась на сучасному рівні – 336 \$/тис.м³.

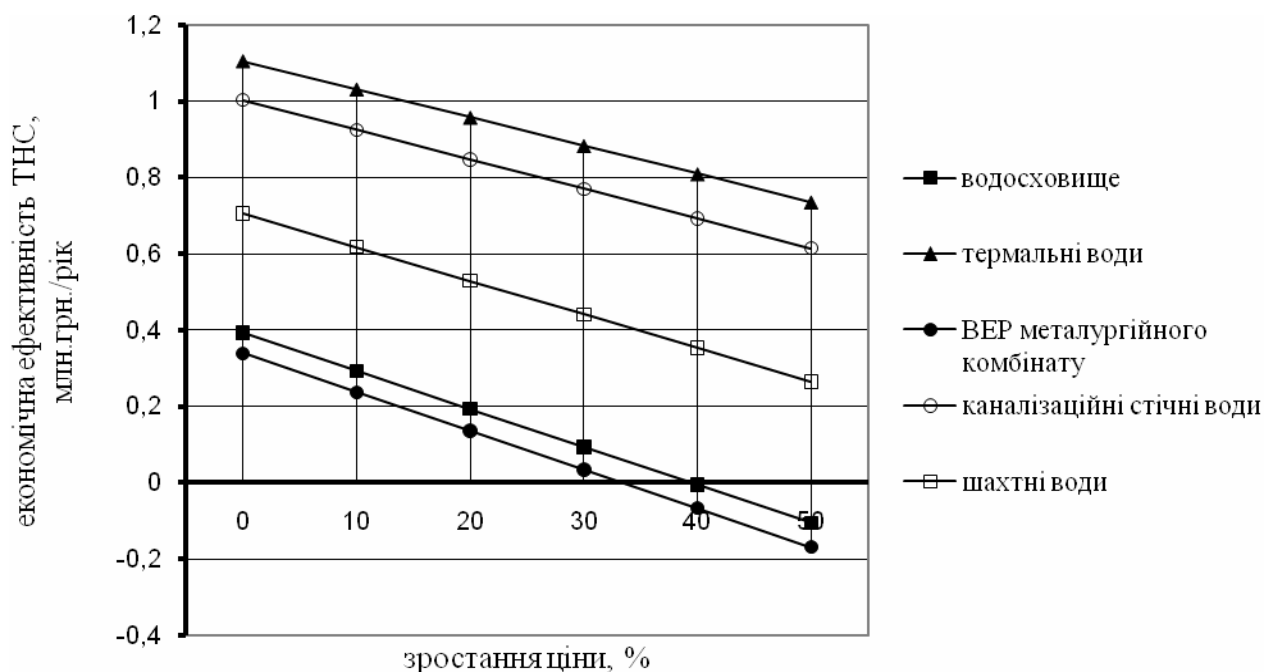


Рис. 1 – Значення економічної ефективності ТНС з електроприводом у випадку зростання вартості електроенергії для різних джерел теплоти

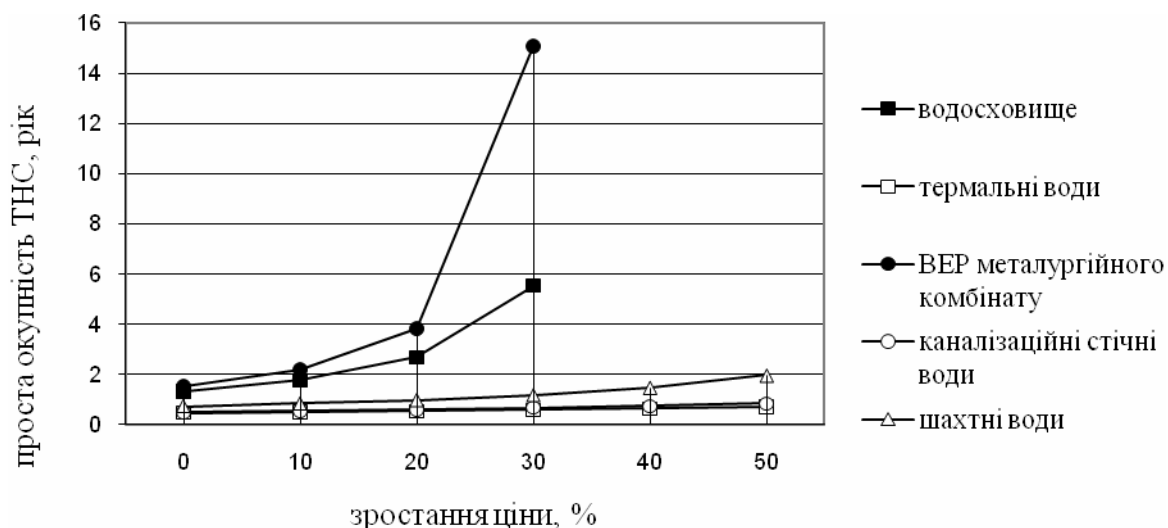


Рис. 2 – Значення простої окупності ТНС з електроприводом у випадку зростання вартості електроенергії для різних джерел теплоти

Як видно з рис. 1–2, за сучасного рівня цін на енергоносії та прогнозованого підвищення вартості електроенергії на 10–50 %, економічно ефективними є ТНС з використанням теплоти шахтних та термальних вод, водосховища, каналізаційних стічних вод та ВЕР металургійних комбінатів. Економічна ефективність ТНС з електроприводом (рис. 1) у разі зростання вартості електроенергії зменшується для зазначених джерел теплоти, що пов'язано із зростанням витрат на електроенергію для привода компресора. Такі джерела теплоти, як морська вода, повітря, річка та ґрунтові води для ТНС з електроприводом є неприйнятними, оскільки робота таких станцій буде збитковою (на рис. 1–2 не показані). За умови підвищення вартості електроенергії понад 20 %, нерентабельними стають варіанти ТНС з використання теплоти водосховища та ВЕР металургійних комбінатів. Проста окупність варіантів ТНС з електроприводом (рис. 2) значно зростає зі збільшенням вартості електроенергії, що зумовлює зниження інвестиційної "привабливості" цих варіантів.

Результати досліджень економічної ефективності ТНС з електроприводом у випадку зростання вартості природного газу для різних джерел низькотемпературної теплоти показані на рис. 3–4. Вартість електроенергії в цьому випадку приймалась на сучасному рівні – 0,75 грн./(кВт·год).

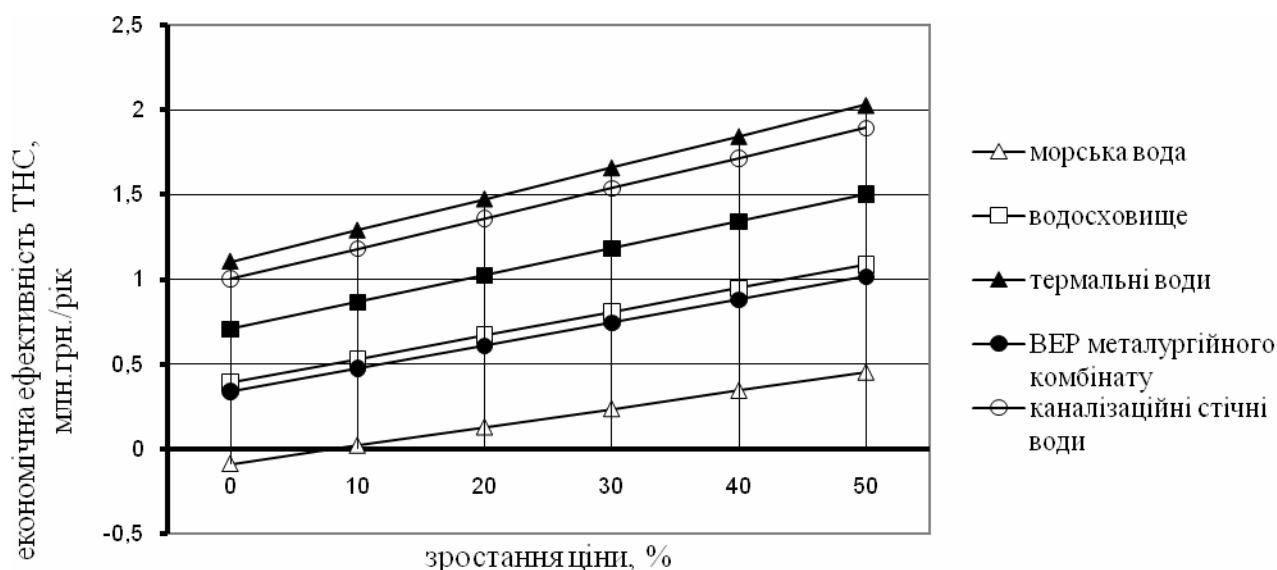


Рис. 3 – Значення економічної ефективності ТНС з електроприводом у випадку зростання вартості природного газу для різних джерел теплоти

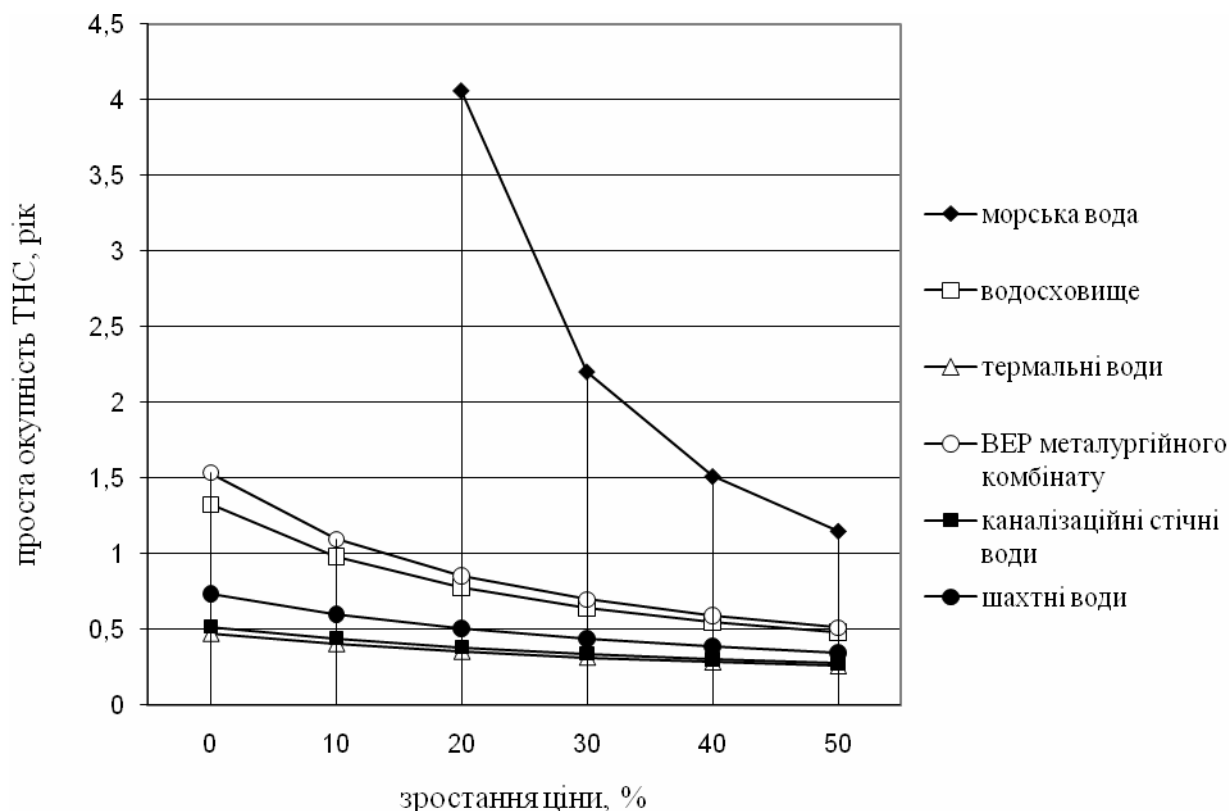


Рис. 4 – Значення простої окупності ТНС з електроприводом у випадку зростання вартості природного газу для різних джерел теплоти

Як видно з рис. 3, за сучасного рівня цін на енергоносії та прогнозованого підвищення вартості природного газу на 10–50 %, економічно ефективними є ТНС з використанням теплоти шахтних та термальних вод, водосховища, каналізаційних стічних вод, ВЕР металургійних комбінатів та морської води. Економічна ефективність ТНС з електроприводом у разі зростання вартості природного газу збільшується для вказаних джерел теплоти, що пов'язано із значним зменшенням витрат на паливо завдяки економії природного газу. В цьому варіанті ТНС з використанням теплоти повітря, річки та ґрунтових вод є збитковими.

Як видно з рис. 4, за умови підвищення вартості природного газу понад 20 %, рентабельним стає варіант ТНС з використання теплоти морської води. Проста окупність варіантів ТНС з електроприводом (рис. 4) зменшується майже вдвічі, за умови зростання вартості палива до 50 %, що робить ці варіанти інвестиційно вигідними.

Результати досліджень економічної ефективності ТНС з електроприводом у випадку одночасного зростання вартості природного газу та електроенергії для різних

джерел низькотемпературної теплоти показані на рис. 5–6.

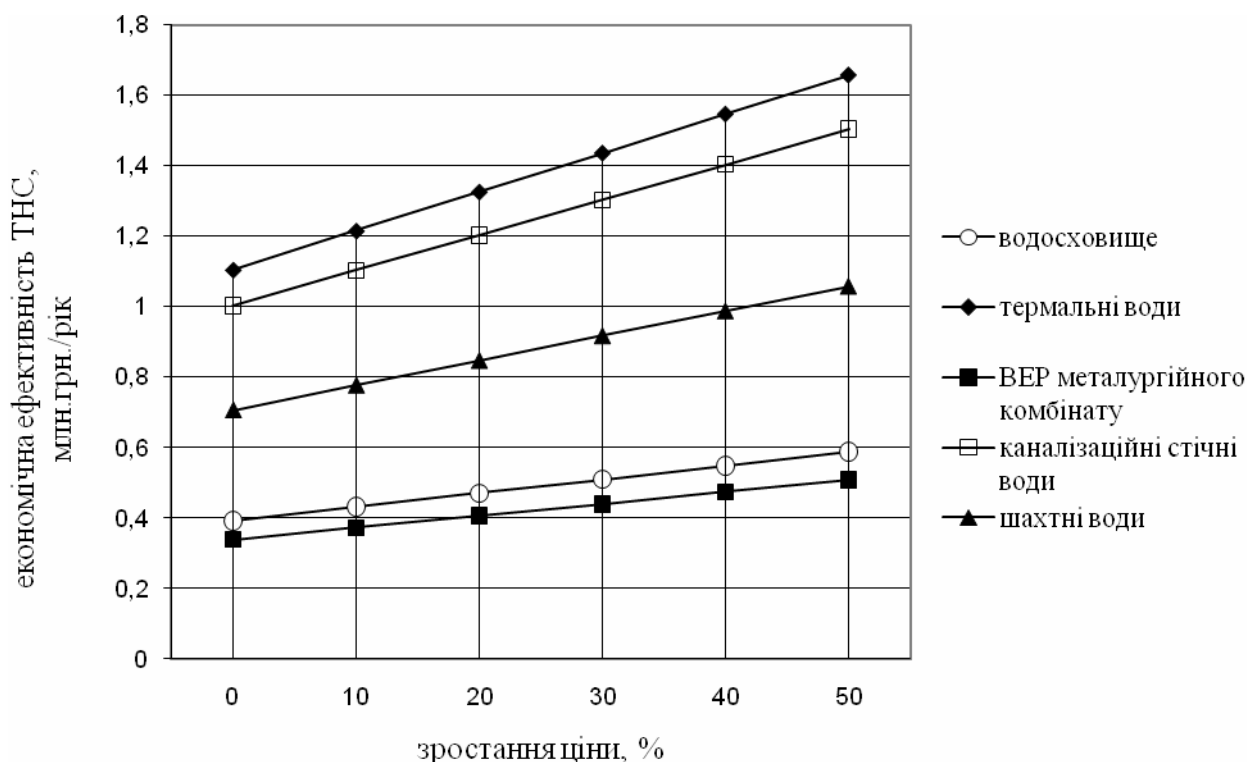


Рис. 5 – Значення економічної ефективності ТНС з електроприводом у випадку одночасного зростання вартості природного газу та електроенергії для різних джерел теплоти

Як видно з рис. 5, за сучасного рівня цін на енергоносії та прогнозованого підвищення вартості електроенергії та природного газу на 10–50 %, економічно ефективними є ТНС з використанням теплоти шахтних та термальних вод, водосховища, каналізаційних стічних вод та ВЕР металургійних комбінатів. Економічна ефективність ТНС з електроприводом у разі зростання вартості енергоносіїв збільшується для вказаних джерел теплоти, що пов'язано із значним зменшенням витрат на паливо завдяки економії природного газу. В цьому випадку витрати на електроенергію теж зростають, проте вони впливають на економічну ефективність ТНС в меншій мірі. Як і в попередніх випадках, ряд варіантів ТНС є збитковими. Це такі варіанти, як ТНС з використанням теплоти повітря, річки та ґрунтових та морських вод.

Як видно з рис. 6, за умови підвищення вартості енергоносіїв до 50 %, проста окупність варіантів ТНС з електроприводом зменшується майже півтора рази, що по-

зитивно впливає на інвестиційні показники цих варіантів ТНС.

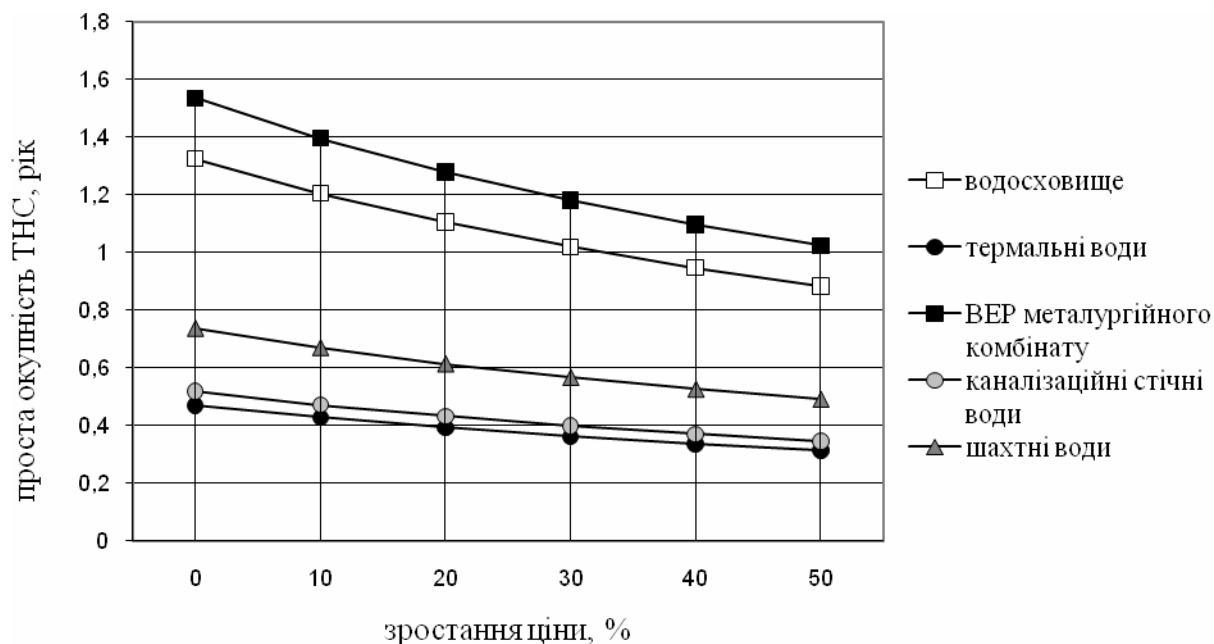


Рис. 6 – Значення простої окупності ТНС з електроприводом у випадку одночасного зростання вартості природного газу та електроенергії для різних джерел теплоти

Як вже зазначалось, економічна ефективність ТНС з приводом від газопоршневого двигуна не залежить від вартості електроенергії, проте, в значній мірі залежить від вартості природного газу. Отже, нами проводилось дослідження для випадків прогнозованого підвищення вартості природного газу від 10 до 50 %.

Результати досліджень економічної ефективності ТНС з приводом від газопоршневого двигуна у випадку зростання вартості природного газу для різних джерел низькотемпературної теплоти показані на рис. 7–8. Вартість електроенергії в цьому випадку приймалась на сучасному рівні – 0,75 грн./(кВт·год).

Як видно з рис. 7, за сучасного рівня цін на енергоносії та прогнозованого підвищення вартості природного газу на 10–50 %, економічно ефективними є всі досліджувані варіанти ТНС з приводом від газопоршневого двигуна. Економічна ефективність ТНС з приводом від газопоршневого двигуна у разі зростання вартості природного газу збільшується майже в півтора рази для всіх джерел теплоти, що пов'язано із значним зменшенням витрат на паливо завдяки економії природного газу.

Як видно з рис. 8, за умови підвищення вартості природного газу від 10 до 50 %, рентабельним є всі досліджувані варіанти ТНС з приводом від газопоршневого двигуна. Проста окупність варіантів ТНС з приводом від газопоршневого двигуна (рис. 8) зменшується майже в півтора рази, за умови зростання вартості палива до 50 %, що покращує економічні показники цих варіантів ТНС.

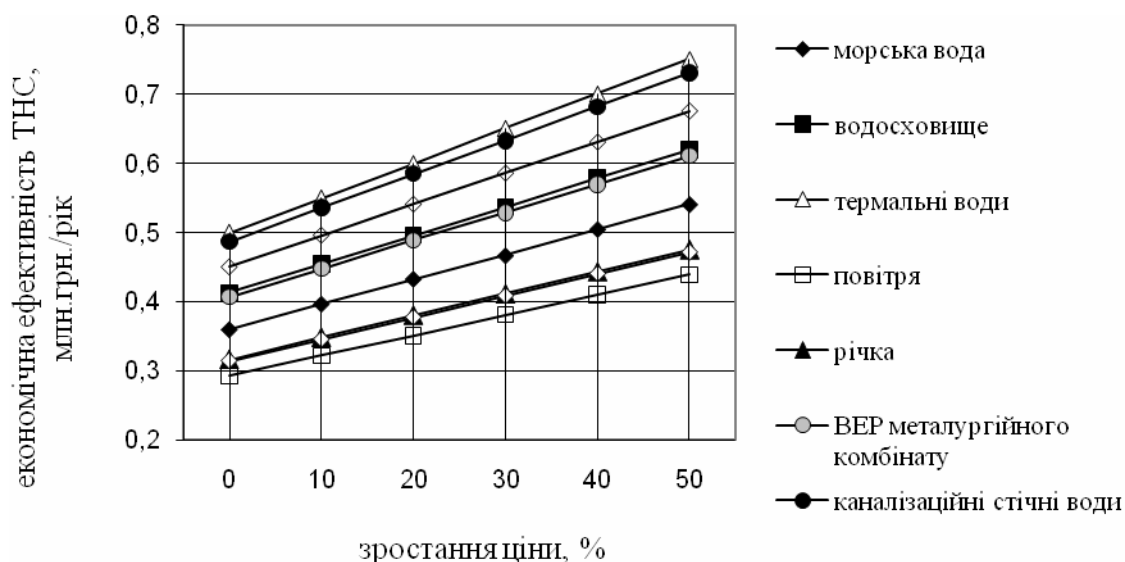


Рис. 7 – Значення економічної ефективності ТНС з приводом від газопоршневого двигуна у випадку зростання вартості природного газу для різних джерел теплоти

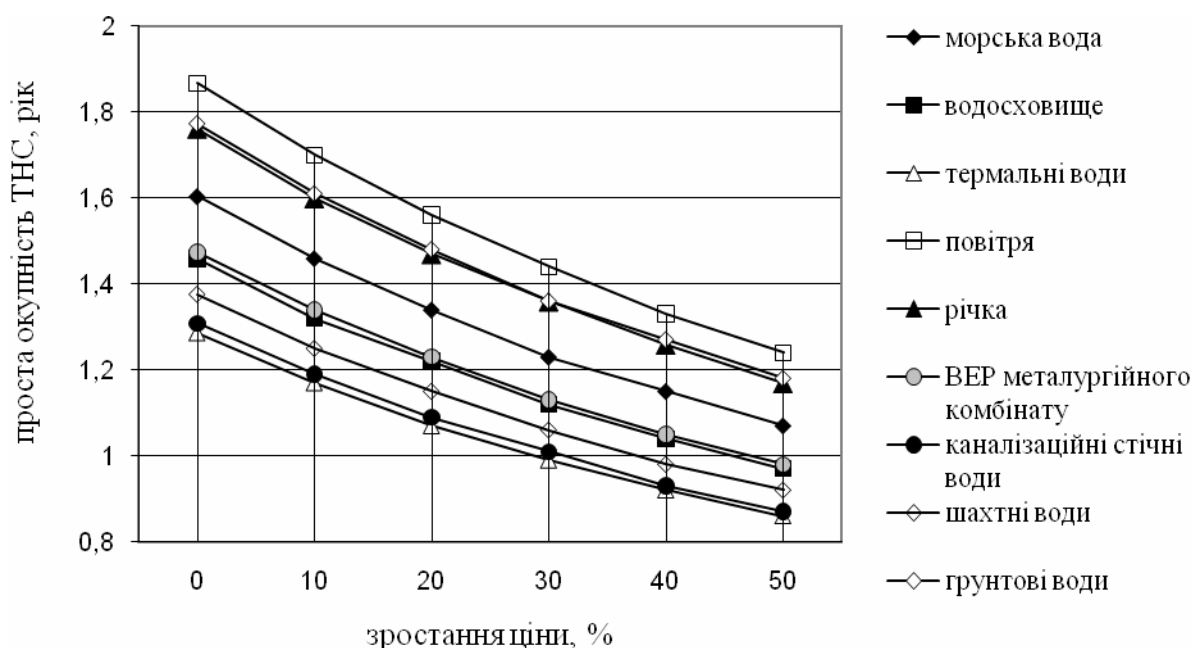


Рис. 8 – Значення простої окупності ТНС з приводом від газопоршневого двигуна у випадку зростання вартості природного газу для різних джерел низькотемпературної теплоти

Отже, слід зазначити наступне:

Здійснена оцінка економічної ефективності ТНС потужністю 1 МВт для систем теплопостачання з урахуванням комплексного впливу джерел низькотемпературної теплоти, виду приводу компресора ТНУ та цін на енергоносії.

За сучасного рівня цін на енергоносії та прогнозованого підвищення вартості природного газу на 10–50 %, економічно ефективними є всі досліджувані варіанти ТНС з приводом від газопоршневого двигуна. В цьому випадку проста окупність варіантів ТНС зменшується майже в півтора рази.

Для ТНС з електроприводом:

– за сучасного рівня цін на енергоносії та прогнозованого підвищення вартості електроенергії на 10–50 %, економічно ефективними є варіанти використання теплоти шахтних та термальних вод, водосховища, каналізаційних стічних вод та ВЕР металургійних комбінатів. За умови підвищення вартості електроенергії понад 20 %, нерентабельними стають варіанти ТНС з використання теплоти водосховища та ВЕР металургійних комбінатів;

– за сучасного рівня цін на енергоносії та прогнозованого підвищення вартості природного газу на 10–50 %, економічно ефективними є варіанти використання теплоти шахтних та термальних вод, водосховища, каналізаційних стічних вод, ВЕР металургійних комбінатів та морської води. Проста окупність варіантів ТНС в цьому випадку зменшується майже вдвічі;

– за сучасного рівня цін на енергоносії та у випадку одночасного підвищення вартості електроенергії та природного газу на 10–50 %, економічно ефективними є варіанти використання теплоти шахтних та термальних вод, водосховища, каналізаційних стічних вод та ВЕР металургійних комбінатів. В цьому випадку проста окупність варіантів ТНС зменшується майже в півтора рази.

Представлені рекомендації можуть бути використані для прогнозування умов ефективної інтеграції ТНС в системи теплопостачання промислових підприємств та підприємств муніципальної енергетики в Україні.

ВИСНОВКИ

Оцінено перспективи застосування та енергетичну ефективність теплонасосних станцій в Україні з урахуванням наявних джерел низькотемпературної теплоти (повітря, морської води, річкової води, ґрунту, водосховищ, шахтних вод, термальних вод, каналізаційних стічних вод та ВЕР металургійних комбінатів).

Найбільша економія палива досягається ТНС з використанням теплоти термальних та каналізаційних стічних вод (58,17% та 56,09% відповідно). Найменша економія палива властива ТНС з використанням теплоти повітря (20,41%).

В Україні найбільш широко планується використовувати в ТНС теплоту каналізаційних стічних вод та річкової води, що дозволить зекономити відповідно 235,864 та 164,920 млн. м³ в рік природного газу. Впровадження ТНС на теплоті морської води забезпечить економію природного газу в кількості 96,350 млн. м³ в рік.

Впровадження теплонасосних станцій в Україні з використанням наявних в регіонах джерел низькотемпературної теплоти дозволить зекономити 614,650 млн. м³ в рік природного газу та забезпечить зниження викидів CO₂ в кількості 732,263 тис. тонн в рік.

Здійснена оцінка економічної ефективності ТНС потужністю 1 МВт для систем теплопостачання з урахуванням комплексного впливу джерел низькотемпературної теплоти, виду приводу компресора ТНУ та цін на енергоносії.

За сучасного рівня цін на енергоносії та прогнозованого підвищення вартості природного газу на 10–50 %, економічно ефективними є всі досліджувані варіанти ТНС з приводом від газопоршневого двигуна. В цьому випадку проста окупність варіантів ТНС зменшується майже в півтора рази.

Для ТНС з електроприводом:

– за сучасного рівня цін на енергоносії та прогнозованого підвищення вартості електроенергії на 10–50 %, економічно ефективними є варіанти використання теплоти шахтних та термальних вод, водосховища, каналізаційних стічних вод та ВЕР металургійних комбінатів. За умови підвищення вартості електроенергії понад 20 %, нерентабельними стають варіанти ТНС з використання теплоти водосховища та ВЕР металур-

гійних комбінатів;

– за сучасного рівня цін на енергоносії та прогнозованого підвищення вартості природного газу на 10–50 %, економічно ефективними є варіанти використання теплоти шахтних та термальних вод, водосховища, каналізаційних стічних вод, ВЕР металургійних комбінатів та морської води. Проста окупність варіантів ТНС в цьому випадку зменшується майже вдвічі;

– за сучасного рівня цін на енергоносії та у випадку одночасного підвищення вартості електроенергії та природного газу на 10–50 %, економічно ефективними є варіанти використання теплоти шахтних та термальних вод, водосховища, каналізаційних стічних вод та ВЕР металургійних комбінатів. В цьому випадку проста окупність варіантів ТНС зменшується майже в півтора рази.

Представлені рекомендації можуть бути використані для прогнозування умов ефективної інтеграції ТНС в системи тепlopостачання промислових підприємств та підприємств муніципальної енергетики в Україні.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Долинский А. А. Тепловые насосы в теплоснабжении / А. А. Долинский, Е. Т. Базеев, А. И. Чайка // Промышленная теплотехника. – 2006. – Т.28, №2. – С. 99–105.
2. Янтовский Е. И. Парокомпрессионные теплонасосные установки / Е. И. Янтовский, Ю. В. Пустовалов. – М.: Энергоиздат. – 1982. – 144 с.
3. Ткаченко С. Й. Парокомпресійні теплонасосні установки в системах теплопостачання. Монографія / С. Й. Ткаченко, О. П. Остапенко. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця. – 2009. – 176 с.
4. Любчик Г. Н. Факторы, параметры и показатели экобезопасности энергетических объектов / Г. Н. Любчик, Г. Б. Варламов // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2001. – №3. – С. 53–58.
5. Ткаченко С. Й. Систематизація інформації з розробки, дослідження та впровадження теплонасосних установок / С. Й. Ткаченко, О. П. Остапенко // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві: науково-технічний збірник. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. – №4. – С. 176–184.
6. Ткаченко С. Й. Узагальнена теплотехнологічна система з теплонасосною установкою / С. Й. Ткаченко, О. П. Остапенко // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві: науково-технічний збірник. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – №3. – С. 136–141.
7. Остапенко О. П. Використання перспективних систем теплопостачання з тепловими насосами для утилізації теплоти викидів підприємств України / О. П. Остапенко // Збірка тез доповідей IV Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених [“Екологія. Людина. Суспільство.”] (14–16 травня 2001 р., Київ). – К.: НТУУ “КПІ”, 2001. – С. 152–153.
8. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних і нетрадиційних джерел енергії України. –К.: НАН України, Інститут відновлюваної енергетики, Державний комітет України з енергозбереження, 2005.– 45 с.
9. Новиков Дмитрий Викторович. Выбор рациональных схем и параметров систем теплоснабжения с теплонасосными установками: дисс. ... канд. техн. наук / Новиков Д. В., Саратов, 2007. – 128 с.

10. Осипов Айрат Линарович. Исследование и разработка схем теплоснабжения для использования низкопотенциального тепла на основе применения теплонасосных установок: дисс. ... канд. техн. наук / Осипов А.Л., Казань, 2005. – 117 с.

11. Маринченко Андрей Юрьевич. Оптимизация исследований комбинированных теплопроизводящих установок с тепловыми насосами: дисс. ... канд. техн. Наук Маринченко А. Ю., Иркутск, 2004. – 120 с.

12. Оценка экономической целесообразности использования тепловых насосов в коммунальной теплоэнергетике Украины / [Беляева Т. Г., Рутенко А. А., Ткаченко М. В., Басок О. Б.] // Промышленная теплотехника. – 2009. – Т.31, №5. – С. 81 – 87.

13. Долинский А. А. Тепловые насосы в системе теплоснабжения зданий / А. А. Долинский, Б. Х. Драганов // Промышленная теплотехника. – 2008. – Т.30, №6. – С. 71 – 83.

14. Анализ экономической эффективности при реализации теплонасосных систем для теплоснабжения / [Басок Б. И., Беляева Т. Г., Рутенко А. А., Лунина А. А.] // Промышленная теплотехника. – 2008. – Т.30, №4. – С. 56 – 63.

15. www.nerc.gov.ua – Національна комісія регулювання електроенергетики України.

Додаток А
Довідки з редакцій.

Додаток Б

Потенціал джерел низькотемпературної теплоти в Україні

Таблиця А.1 - Потенціал геотермальної енергії в Україні [8]

Області	Кількість теплоносія, що видобувається при експлуатації з підтримкою пластового тиску, тис. м ³ /добу	Тепловий потенціал термальних вод, МВт	Річна економія, тис. т у. п.
Закарпатська	239,4	490	510
Миколаївська	1620	2820	1900
Одеська	1350	2350	1600
Полтавська	5,9	9,2	9,9
Сумська	4,2	15,8	17
Харківська	0,4	1,3	1,4
Херсонська	2430	4230	2900
Чернігівська	37,2	58,3	62,7
АР Крим	21600	37600	25600
Всього	27287,1	47574,6	32601

Таблиця А.2 - Енергетичний потенціал низькотемпературної теплової енергії стічних вод в областях України [8]

Області	Потенціал низькотемпературної теплової енергії стічних вод, тис. МВт·год/рік		
	Загальний потенціал	Технічний потенціал	Доцільно-економічний потенціал
Вінницька	1170	636	239
Волинська	761	383	144
Дніпропетровська	9398	4825	1809
Донецька	8550	4089	1533
Житомирська	1155	499	187
Закарпатська	903	378	142
Запорізька	3091	1535	576
Івано-Франківська	1869	912	342
Київська	9608	5086	1907
Кіровоградська	836	451	169
Луганська	2971	1329	498
Львівська	4979	2616	981
Миколаївська	1232	653	245
Одеська	3879	1735	651
Полтавська	1683	853	320
Рівненська	1701	523	196
Сумська	1024	456	171
Тернопільська	744	376	141
Харківська	5273	2825	1059
Херсонська	870	448	168
Хмельницька	1135	542	203
Черкаська	2229	774	290
Чернівецька	487	264	99
Чернігівська	924	478	179
АР Крим	3312	1273	477
ВСЬОГО	69784	33939	12726

Таблиця А.3 - Енергетичний потенціал низькотемпературної теплоти ґрунту та ґрунтових вод в областях України [8]

Області	Потенціал низькотемпературної теплоти ґрунту та ґрунтових вод, тис. МВт·год/рік		
	Загальний потенціал	Технічний потенціал	Доцільно-економічний потенціал
1. Вінницька	4731	3379	513
2. Волинська	3321	2372	290
3. Дніпропетровська	15438	11027	424
4. Донецька	15422	11015	2656
5. Житомирська	3374	2410	428
6. Закарпатська	5093	3638	79
7. Запорізька	3833	2738	355
8. Івано-Франківська	5532	3951	51
9. Київська	12966	9262	192
10. Кіровоградська	3720	2657	833
11. Луганська	10571	7551	1958
12. Львівська	11941	8529	203
13. Миколаївська	3441	2458	117
14. Одеська	4015	2868	195
15. Полтавська	9163	6545	162
16. Рівненська	3106	2219	225
17. Сумська	4492	3208	239
18. Тернопільська	3819	2728	194
19. Харківська	12125	8661	153
20. Херсонська	2597	1855	172
21. Хмельницька	4438	3170	171
22. Черкаська	4286	3061	476
23. Чернівецька	2149	1535	123
24. Чернігівська	3930	2807	149
25. АР Крим	4027	2877	206
Всього	157530	112521	10564

Схема ТНС з приводом компресора від двигуна внутрішнього згорання показана на рис. В.2.

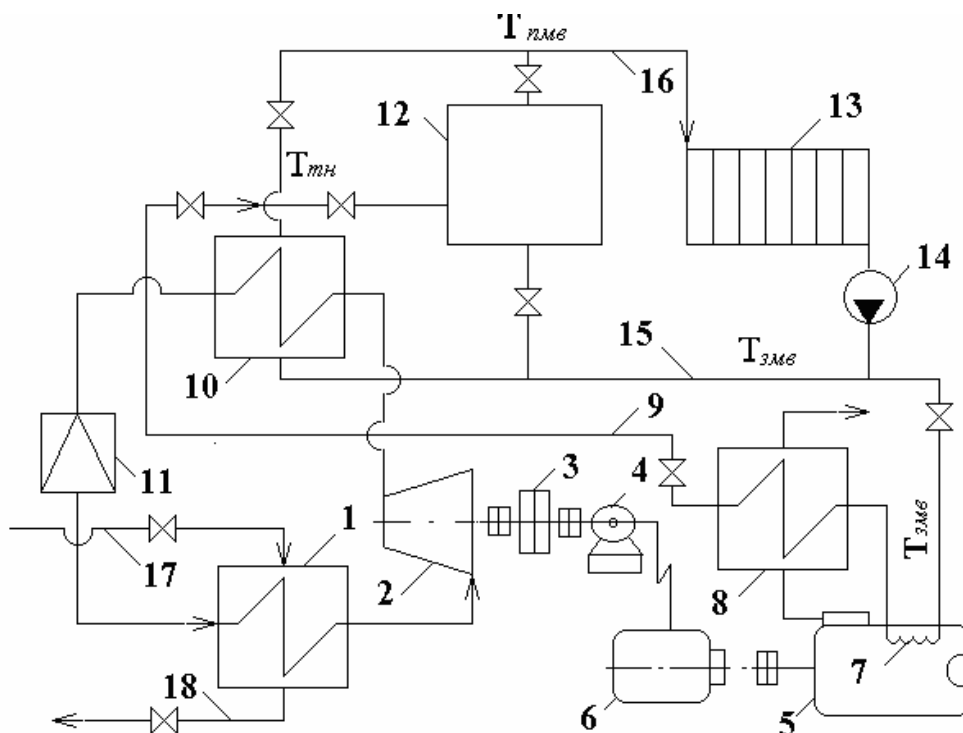


Рис. В.2 - Принципова схема ТНС з дизель-генераторним приводом компресора ТНУ і з утилізацією теплоти відхідних газів після дизеля: 1 – випарник ТНУ; 2 – компресор; 3 – мультиплікатор; 4 – електродвигун; 5 – дизельний двигун; 6 – електрогенератор; 7 – теплообмінна поверхня системи охолодження дизеля; 8 – утилізатор відхідних газів після дизельного двигуна; 9 – лінія гарячої мережної води від утилізатора; 10 – конденсатор ТНУ; 11 – дросельний вентиль; 12 – водогрійний котел; 13 – теплові споживачі; 14 – мережний насос системи теплофікації; 15 і 16 – лінія прямої та зворотної мережної води відповідно; 17 і 18 – лінія підведення і відведення “холодного” теплоносія у випарник ТНУ; $T_{пмв}$, $T_{зmv}$ – температури прямої та зворотної мережної води в системі теплопостачання відповідно; $T_{тн}$ – температура мережної води після підігріву в ТНУ